УДК 004.[6+8+94]

О.М. Шушура
Державний університет телекомунікацій, Україна
вул. Солом'янська, 7, м. Київ, 03110

НЕЧІТКЕ ЛОГІЧНЕ ВИВЕДЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ПИТАЛЬНИКІВ

O.M. Shushura
State University of Telecommunications, Ukraine
7, Solomenska str., Kyiv, 03110

FUZZY INFERENCE BASED ON THE THEORY OF QUESTIONNAIRES

Моделі прийняття рішень на основі нечіткого виведення отримали значне розповсюдження при управлінні складними системами. При зростанні кількості нечітких продукцій у базах знань актуальним постає завдання підвищення ефективності процедур нечіткого виведення. У роботі запропоновано для проведення нечіткого логічного виведення застосовувати побудову відповідного питальника на основі методів теорії питальників. Показана відповідність структури нечіткої бази знань базовим характеристикам питальників, наведено реалізацію процедур нечіткого виведення на основі обробки графа питальника. Результати роботи можуть бути використані при розробці інформаційних технологій для управління складними системами на основі нечіткої логіки.

Ключові слова: нечітке логічне виведення, база знань, теорія питальників, інформаційні технології

Decision-making models based on fuzzy output have become widespread in the control of complex systems. With the increasing in the number of fuzzy products in knowledge bases, the task of increasing the effectiveness of fuzzy inference procedures is urgent. In the paper, it is proposed to use the construction of the corresponding questionnaire based on the methods of the questionnaire theory for carrying out the fuzzy logical inference. The correspondence of the structure of the fuzzy knowledge base to the basic characteristics of the questioners is shown, and the implementation of fuzzy output procedures is based on the processing of the questionnaire graph. The results of work can be used in the development of information technology to manage complex systems based on fuzzy logic.

Keywords: fuzzy logic inference, knowledge base, theory of questionnaires, information technology

Вступ

Методи та засоби штучного інтелекту, до складу яких входить і нечітка логіка, отримують дедалі більш широке застосування при розв’язку задач управління складними системами. Прийняття рішень на основі моделей управління, побудованих з використанням нечіткої логіки, передбачає реалізацію нечіткого виведення, яке ґрунтується на обробці бази знань у вигляді нечітких продукцій. Зростання розміру та складності структури баз знань роблять актуальною задачу підвищення ефективності виконання етапів нечіткого виведення. Класичні методи нечіткого виведення, до яких належать методи Мамдані, Ларсена та інші, використовують алгоритми прямого нечіткого логічного виведення [1]. Однак у звичайних експертних системах хороші результати дає застосування оберненого логічного виведення [2,3]. Нечітке обернене логічне виведення, представлене як реалізація методу modus tollens, не отримало широкого застосування через свою складність. У роботі запропоновано для проведення нечіткого логічного виведення застосовувати побудову відповідного питальника на основі методів теорії опитувальників. Показана відповідність структури нечіткої бази знань базовим характеристикам питальників, наведено реалізацію процедур нечіткого виведення на основі обробки графа питальника.

Постановка проблеми

Вирішення задач управління складними системами на основі баз знань у вигляді нечітких продукцій потребує ефективних процедур нечіткого виведення. Прямі методи нечіткого виведення не мають раціональних засобів застосування у випадках наявності проміжних змінних виведення чи необхідності пошуку лише частини значень вихідних змінних. У подібних випадках у базах знань звичайних продукцій хороші результати дає застосування оберненого логічного виведення, що зумовлює проведення аналізу наявних процедур нечіткого оберненого виведення та розробку, за необхідності, нових підходів до їх реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Майже всі реально працюючі нечіткі системи – це системи, засновані на нечітких продукційних правилах, або реляційні системи, що використовують нечіткі відношення. Функціонування і тих, і інших систем описується за допомогою композиційних правил нечіткого виводу, в основі яких лежать класичні modus ponens і modus tollens [1,4]. Метод оберненого нечіткого логічного виведення використовує правило modus tollens. Його завданням є визначення при відомих значеннях вихідних змінних відповідні значення вхідних змінних. Застосування правила modus tollens призводить до необхідності розв’язку системи рівнянь для визначення значень функцій належності вхідних змінних, а потім для них підбираються відповідні значення звичайних вхідних змінних [4,5]. Обчислювальні процедури є досить складними і в такому варіанті нечітке обернене логічне виведення не знайшло поширення у практичних задачах.

Переважна більшість експертних систем, побудованих на основі звичайних продукційних правил, як машини виведення використовує механізм оберненого логічного висновку [6].У системах з оберненим логічним висновком спочатку висувається деяка гіпотеза про кінцеве судження (ціль), а потім механізм виведення намагається знайти в робочій пам'яті факти, які могли б підтвердити або спростувати висунуту гіпотезу. Якщо гіпотеза підтверджується, то вона надається як відповідь, інакше висувається інша гіпотеза. Процес відшукання необхідних фактів може включати досить велике число кроків, при цьому можливо у випадку наявності проміжних змінних виведення висування нових гіпотез (цілей). Зворотні висновки управляються цілями [2]. Найчастіше витрати на проведення зворотного логічного висновку набагато менші в порівнянні з вартістю, що лінійно залежить від розміру бази знань, оскільки в цьому процесі зачіпаються тільки ті факти, які безпосередньо стосуються визначення цілі. Таким чином, у звичайних експертних системах обернене виведення направлене не на пошук значень вхідних змінних, а на більш ефективне підтвердження значення цілі. Фактично знаходиться значення вихідних змінних шляхом послідовної перевірки гіпотез. У роботі [7] показано, що в цьому розумінні обернене логічне виведення може бути реалізовано за допомогою методів теорії питальників.

Теорія питальників застосовується у таких галузях діяльності, де зустрічаються завдання, вирішення яких можна і доцільно шукати у вигляді деякого графа спеціального виду, і тим самим розглядати ці завдання з деякої спільної точки зору. Як приклади таких завдань, можна навести завдання сортування предметів за притаманними їм ознаками, відшукання слів у машинному словнику, побудови програм перевірки об'єктів контролю, технічної діагностики і т.п. [8-10]. Необхідно розглянути можливість застосування теорії питальників для реалізації процедур нечіткого логічного виведення.

Мета дослідження

Метою дослідження є розробка на основі методів теорії питальників підходів до проведення нечіткого логічного виведення, завданням якого є ефективне встановлення значень вихідних змінних моделей. Для досягнення поставленої мети необхідно представити модель побудови питальника для бази нечітких продукційних правил та розробити процедури нечіткого виведення на основі графа питальника.

Модель побудови питальника для бази нечітких продукційних правил

Модель побудови питальника для бази нечітких продукцій містить формалізацію структури правил, опис базових складових питальника, встановлення відповідності структури правил та основних складових питальника, процедуру формування питальника на основі базових даних.

Нехай $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_m$ – вхідні лінгвістичні змінні нечіткої моделі, β – вихідна лінгвістична змінна. Для кожної лінгвістичної змінної α_i визначено множини термів $\{s_{ij}\}$. Аналогічно для лінгвістичної змінної β задана множина термів $\{d_j\}$.

Структуру бази нечітких продукційних правил представимо у вигляді:

1) ЯКЩО α_1=s_{11} та α_2=s_{12} та… α_m =s_{1m}, ТО β =d_1 (вага p_1);

2) ЯКЩО α_1=s_{21} та α_2=s_{22} та… α_m =s_{2m}, ТО β =d_2 (вага p_2); (1)

...

n) ЯКЩО α_1=s_{n1} та α_2=s_{n2} та… α_m =s_{nm}, ТО β =d_n (вага p_n).

Вважаємо, що у системі (1) в антецедентах правил у загальному випадку може бути різна кількість складових, бо різні вхідні лінгвістичні змінні можуть мати різну кількість термів. У випадку, коли модель має кілька вихідних змінних, правила нечітких продукцій розбиваються на блоки вигляду (1). Для системи правил розглянемо відповідні структури питальника.

У загальному випадку питальник визначає кінцеву множину Y, що складається з N елементів y_j, що називаються подіями. Кожній події $y_j \in Y$ приписана вагова функція ω (y_j), яка характеризує частоту даної події. Також визначена множина питань T з заданою кількістю відповідей $a(t_i)$ на кожне питання t_i. Число елементів у множині T дорівнює R. Елементи t_i множини T називаються питаннями. Як правило, кожному питанню $t_i \in T$ приписана позитивна вагова функція $c(t_i)$, яка називається вартістю питання. Опис розбиття множини подій Y питаннями з T на підмножини прийнято проводити за допомогою анкети. Анкета являє собою матрицю А розмірності $R \times N$, елементи якої Z_{ij} визначають відповіді на питання t_i для події y_j. Сукупність питань T і послідовності, в яких задаються ці питання для повної ідентифікації кожного з N подій множини Y, утворюють питальник для Y. При одних і тих же множинах T і Y можуть бути побудовані питальники, що відрізняються як послідовністю постановки, так і множинами поставлених питань. Тому теорія питальників пропонує методи побудови оптимальних, у деякому сенсі, питальників [10].

На підставі аналізу структури бази нечітких продукційних правил та базових складових питальника можна зробити висновок про їх значну схожість. Кожному питанню $t_i \in T$ поставимо у відповідність вхідну лінгвістичну змінну α_i, а кожній події y_j – терм d_j вихідної лінгвістичної змінної β. Як відповіді на питання Z_{ij} можуть бути використані терми s_{ij} вхідних лінгвістичних змінних. Однак вагові коефіцієнти p_j нечітких продукційних правил у загальному випадку не можуть розглядатися як значення вагових функцій подій ω (y_j), тому що вони мають зовсім різне значення.

Ваговий коефіцієнт характеризує впевненість експерта у правильності правила, а вагова функція події позначає її частоту. Тому значення вагової функції покладемо рівними $1/|\{d_j\}|$. Значення вагової функції $c(t_i)$ приймемо рівними і для всіх питань. Таким чином, оскільки кількість термів у вхідних лінгвістичних змінних не є однаковою, відповідний питальник є неоднорідним з однаковою ціною питання.

Спираючись на встановлену відповідність між компонентами питальника та нечітких продукцій, процедура формування питальника для бази нечітких продукційних правил містить етапи:

- формування анкети питальника;
- побудову питальника одним із методів теорії питальників.

Формування анкети питальника для бази продукційних правил є, як показано вище, тривіальною задачею. У випадку, коли для терма лінгвістичної змінної немає значення вхідної лінгвістичної змінної, значення відповідного елемента матриці анкети питальника вважається рівним Ø.

Побудова питальника полягає у формуванні навантаженого орієнтованого графа $G(X,Г)$ з однією кореневою вершиною, такого що [10]:

$$X: \{x \in (T \cup Y)\};$$
$$x = y \in Y \Rightarrow |Гy| = \varnothing;$$
$$x = t \in T \Rightarrow |Гt| = a(t);$$
$$T \cap Y = \varnothing.$$

Як критерій формування графа питальника використовується мінімальна довжина його обходу. Побудова оптимального питальника може бути виконана з застосуванням динамічного програмування або алгоритму Пікара [8].

На основі побудованого для кожної лінгвістичної змінної графа питальника формуються процедури нечіткого логічного виведення.

Процедура нечіткого виведення на основі графа питальника

Етапи нечіткого логічного виведення на основі питальника представлено на рисунку 1.

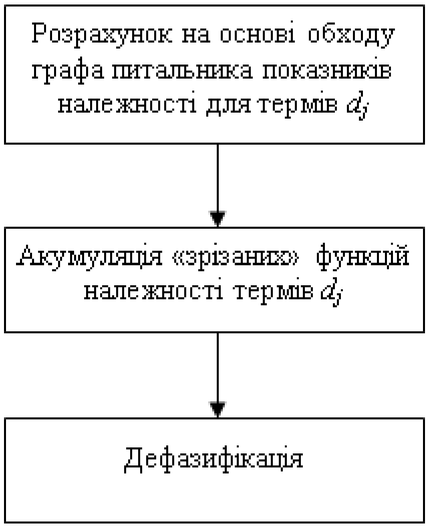


Рис. 1. Етапи нечіткого логічного виведення на основі питальника

Для проведення обходу графа питальника будемо використовувати принцип пошуку в глибину. Позначимо Q_j підмножину вершин питань T графа питальника,

які утворюють шлях від кореневої вершини до вершини події y_j. Відповідну множину дуг, які поєднують вершини, позначимо V_j.

Розрахунок показника належності W_j для терму d_j на основі заданих значень вхідних змінних здійснюється за формулою:

$$W_j = \bigcap_{v \in V_j,\, v \neq \emptyset} \mu_{ij},$$

де μ_{ij} – значення для заданих величин вхідних змінних блоку нечіткого управління функції належності терма s_{ij} вхідної лінгвістичної змінної α_i, що відповідає відповіді Z_{ij} на питання, з вершини якого виходить дуга v. Операція перетину реалізується одним з варіантів t-норми.

Акумуляція функцій належності термів вихідної лінгвістичної змінної β відбувається за формулою:

$$\mu(u) = \bigcup_{dj} \left(W_j \cap \mu_j(u) \right).$$

Операція об’єднання реалізується за одним із варіантів s-норми.

Для отримання звичайних значень вихідних змінних u блоку управління використовується один з методів дефазифікації.

Висновки

Порівняльний аналіз структури бази нечітких продукційних правил та основних складових питальників показав відповідність їх ключових компонентів. Запропоновано підходи до побудови питальника для бази нечітких продукцій та процедуру нечіткого виведення на основі графа питальника. Оскільки можливе вирішення задачі побудови оптимального питальника на основі відомих методів теорії питальників, розроблена процедура нечіткого виведення має переваги перед відомими аналогами. Результати роботи можуть бути використані при побудові інформаційних технологій для вирішенні задач автоматизації нечіткого управління складними системами.

Література

1. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
2. Поличка А.Е. Алгоритмы функционирования продукционных баз знаний и описание аппарата математического моделирования / А.Е. Поличка, А.В. Despite Вострикова // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». – 2016. – Том 7. – № 4. – С. 504-508.
3. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 798с.
5. Ракитянська Г. Розв’язання систем нечітких логічних рівнянь у задачах оберненого виведення / Г. Ракитянська // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Комп’ютерні науки та інформаційні технології : збірник наукових праць. – 2015. – № 826. – С. 248–259.
6. Бакаев А.А. Экспертные системы и логическое программирование / А.А. Бакаев, В.И. Гриценко, Д.Н. Козлов. – К.: Наук. думка, 1992. – 216 с.
7. Шушура А.Н. Разработка механизма обратного логического вывода на основе теории вопросников / А.Н. Шушура, В.В. Кондратьев // Искусственный интеллект. –2005. – №. 1 – С. 138-144.
8. Пархоменко П.П. Теория вопросников / П.П. Пархоменко // Автомат. и телемех. – 1970. – № 4. – С. 140-159.
9. Аржененко А.Ю. Оптимальные бинарные вопросники / А.Ю. Аржененко, Б.Н. Чугаев. – М.: Энергоатомиздат, 1989. –128 с.
10. Чугаев Б.Н. Оптимальная идентификация случайных событий / Б.Н. Чугаев., А.Ю. Аржененко // Экономика, статистика и информатика. – 2013. –№ 2. – С. 185-187.

Literatura

1. Shtovba S.D. Proekty`rovany`e nechetky`x sy`stem sredstvamy` MATLAB / S.D. Shtovba – M.: Goryachaya ly`ny`ya – Telekom, 2007. – 288 s.
2. Poly`chka A.E. Algory`tmы funkcy`ony`rovany`ya produkcy`onnых baz znany`j y` opy`sany`e apparata matematy`cheskogo modely`rovany`ya / A.E. Poly`chka, A.V. Vostry`kova // Эlektronnoe nauchnoe y`zdany`e «Uchenыe zametky` TOGU». – 2016. – Tom 7. – # 4. – S. 504-508.
3. Gavry`lova T.A. Bazy znany`j y`ntellektual`nyx sy`stem / T.A. Gavry`lova, V.F. Xoroshevsky`j. – SPb.: Py`ter, 2000. – 384 s.
4. Pegat A. Nechetkoe modely`rovany`e y` upravleny`e / A. Pegat - M.: BY`NOM. Laboratory`ya znany`j, 2009. – 798 s.
5. Raky`tyans`ka G. Rozv'yazannya sy`stem nechitky`x logichny`x rivnyan` u zadachax obernenogo vy`vedennya / G. Raky`tyans`ka // Visny`k Nacional`nogo universy`tetu "L`vivs`ka politexnika". Seriya: Komp'yuterni nauky` ta informacijni texnologiyi : zbirny`k naukovy`x pracz`. – 2015. – # 826. – S. 248–259.
6. Bakaev A.A. Эkspertnye sy`stemy y` logy`cheskoe programmy`rovany`e / A.A. Bakaev, V.Y`. Gry`cenko, D.N. Kozlov. – K.: Nauk. dumka, 1992.–216 s.
7. Shushura A.N. Razrabotka mexany`zma obratnogo logy`cheskogo vyvoda na osnove teory`y` voprosny`kov / A.N. Shushura, V.V. Kondrat`ev // Y`skusstvennyj y`ntellekt. –2005. – # 1 –S. 138-144.
8. Parxomenko P.P. Teory`ya voprosny`kov / P.P. Parxomenko // Avtomat. y` telemex.. – 1970. – # 4. –S. 140-159.
9. Arzhenenko A.Yu. Opty`mal`nye by`narnye voprosny`ky` / A.Yu. Arzhenenko, B.N.Chugaev. – M.: Эnergoatomy`zdat, 1989. –128 s.
10. Chugaev B.N. Opty`mal`naya y`denty`fy`kacy`ya sluchajnyx sobyty`j / B.N.Chugaev, A.Yu. Arzhenenko // Эkonomy`ka, staty`sty`ka y` y`nformaty`ka. – 2013. –# 2. –S. 185-187.

RESUME

O.M. Shushura

Fuzzy inference based on the theory of questionnaires

Models of decision-making based on fuzzy inference have become widespread in the control of complex systems. With the increasing in the number of fuzzy products in knowledge bases, the task of improving the efficiency of fuzzy inference procedures is urgent. In expert systems, on the basis of the usual production rules good results are shown by the reverse logical inference. The idea of inverse logical inference in many respects resembles the construction of questionnaires, which have become widespread in diagnostic problems.

In the paper, it was proposed to apply the construction of an appropriate questionnaire on the basis of the methods of the questionnaire theory for conducting a fuzzy logical inference. The correspondence of its structure to the basic elements of the questionnaires is shown based on the formal model of the base of fuzzy production rules. The description of the construction of the questionnaire graph for the base of fuzzy production rules is given. Procedures for fuzzy inference are developed based on processing the questionnaire graph. The stages of fuzzy inference consist in traversing the questionnaire graph to calculate the degree of belonging of each term to the output linguistic variable for given values of input variables, accumulation of membership functions of terms of output variables, and defuzzification. When carrying out accumulation, one of the known variants of the s-norm can be used. To perform defuzzification, one of the standard approaches can be used, for example, the center of gravity method.

Since it is possible to solve the problem of constructing an optimal questionnaire on the basis of known methods of questionnaire theory, the developed procedure for fuzzy inference has advantages over known analogs. The results of the work can be used to build information technologies for solving problems of automating fuzzy control of complex systems.

Надійшла до редакції 23.11.2017